空气污染对自杀意念的影响：微博客基本社会情绪的中介作用

陈敏怡[1,2] 高宇蕙[1,2] 林可心[1,2] 朱廷劭[1,2*]

[1]（中国科学院心理研究所 北京 100101）

[2]（中国科学院大学心理系 北京 100049）

摘要：空气污染与人类息息相关，影响我们的身心健康和行为。本研究运用大数据分析，旨在探讨 2010-2020 年中国空气污染与自杀意念关系，考察微博客基本社会情绪的中介作用。研究发现：（1）仅愤怒、厌恶、悲伤三种负面情绪在 CO_2 /SO_2 排放量与自杀意念间起完全中介作用。具体而言，CO_2 排放量通过这三种情绪对自杀意念产生显著的负向影响，而 SO_2 排放量则产生显著的正向影响。（2）人均医疗卫生和居民人均可支配收入均通过快乐、愤怒、厌恶、悲伤情绪影响自杀意念，显示出宏观因素在自杀风险中的作用。（3）双向固定效应模型显示，在控制了省份与年份效应后，纳入情绪中介变量，CO_2 与 SO_2 排放量对自杀意念的直接效应相对有限，且除厌恶情绪外，其他情绪对自杀意念均展现出显著正向影响。研究结果为理解空气污染对自杀意念的长期影响及制定干预策略提供科学依据，旨在减少自杀、提升公共健康。

关键词：空气污染；自杀意念；中介作用；结构方程模型；微博

The impact of air pollution on suicidal ideation: The mediating role of basic social emotions in microblogs

Chen Minyi[1,2] Gao Yuhui[1,2] Lin Kexin[1,2] Zhu Tingshao[1,2*]

[1](Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

[2](Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract:

Air pollution is closely related to humans, affecting our physical and mental health and behavior. Using big data analysis, this study aims to explore the relationship between air pollution and suicidal ideation in China from 2010 to 2020 and examine the mediating role of basic social emotions in microblogs. The study found that: (1) Only three negative emotions, anger, disgust, and sadness, fully mediate the relationship between CO_2/SO_2 emissions and suicidal ideation. Specifically, CO_2 emissions exerted a significant negative influence on suicidal ideation through the three emotions, while SO_2 emissions exerted a significant positive influence. (2) Both per capita medical and health care and per capita disposable income of residents affect suicidal ideation through emotions such as happiness, anger, disgust, and sadness, indicating the role of macro factors in suicide risk. (3) The two-way fixed effects model showed that after controlling for the province and year effects, the direct effects of CO_2 and SO_2 emissions on suicidal ideation were relatively limited when emotional mediators were included. In addition, except for disgust emotion, other emotions showed significant positive impact on suicidal ideation. The research results provide a scientific basis for understanding the long-term impact of air pollution on suicidal ideation and formulating intervention strategies, aiming to reduce suicide and improve public health.

Keywords: air pollution; suicidal ideation; mediating effect; structural equation model; microblog

1 引言

随着工业化和城市化的快速发展，空气污染已成为全球性的环境问题，对人类健康和社会福祉产生了深远影响。党的十八大以来，中国政府高度重视空气污染问题，国务院先后印发实施《大气污染防治行动计划》《打赢蓝天保卫战三年行动计划》，确保空气质量。2017年，环境保护部开展为期一年的中国大气污染防治强化督查行动，对过去几年大气污染治理效果进行现场核实。这些举措推动空气质量明显改善，PM2.5 浓度和重污染天数大幅下降，蓝天保卫战是污染防治攻坚战的重中之重。

自杀是指任何隐含或明确的结束生命的意图、想法或行动。自杀的研究涉及自杀意念(suicide ideation)、自杀企图(suicide intent)、自杀计划(suicide plan)、自杀尝试(suicide attempt)或称为自杀未遂(failed suicide attempt)和自杀行为(suicidal behavior) (Chehil & Kutcher, 2012, p. 23)。自杀意念是指有明确的自杀想法, 准备进行一种致命的、自我导向的伤害性行为, 但尚无具体计划。有学者开始探讨中国人群自杀率男/女性别比背后的原因, 并提出了自杀扭力理论(Strain Theory of Suicide; Zhang, 2019)。自杀意念可以由生活事件触发, 这些事件可能产生冲突、挫折、心理 困扰、无望甚至绝望, 它们可以被称为心理压力源。该模型认为, 一个人如果有心理压力却无法解决, 就会在心理上感受到折磨和愤怒。愤怒的外部释放是对他人的暴力, 而压力的内部释放可能导致抑郁、焦虑、自残或自杀的想法(王钟涵，王晓田，2023)。

空气污染对人类健康的影响是多方面的，不仅包括呼吸系统和心血管疾病(Beelen et al., 2014)，还可能影响心理健康，进而影响自杀风险。此外，颗粒物可以在 24 小时内改变大脑化学，改变攻击性和情绪控制(Calderón-Garcidueñas et al., 2003)。空气污染对呼吸、心血管或神经系统功能的生理危害和心理危害(相鹏 等, 2017)影响个体健康。环境应激模型认为空气污染的应激性或致病性效应是复杂和间接的，强调空气污染的不良效应受到个体认知过程的调节，而这一认知过程又以复杂和微妙的方式影响个体对空气污染的行为和健康反应(相鹏 等, 2017)。但是，空气污染对自杀风险的影响及情绪在其中的作用尚不清楚。

Levinson（2012）通过每日调查受访者的主观幸福感来探究空气质量的影响，而 Power 等（2015）则基于受访者的焦虑障碍量表作答分数来分析空气细颗粒物污染与广泛性焦虑的关系。这些研究受限于样本规模和自我报告调查的主观性，难以全面、真实地反映大规模人群的情绪变化（Yang et al.，2020；Zhang & Wang，2019）。Lim 等(2012) 对韩国某一社区中心老年人的 3 年追访调查发现, 随着空气污染浓度上升, 老年人抑郁症状增强。而基本社会情绪在空气污染与自杀意念之间的关系具有重要作用。如，厌恶情绪是导致自杀的主要情

绪因素,个体因为自身厌恶而走向自杀。许多心理问题来自于对周围人或事物的厌恶,有自杀行为的个体对自身极其厌恶,说明他们的厌恶情绪出现了问题（肖婷炜 等，2023）。以往的研究很少考虑时间序列数据和社交媒体情绪分析的结合，这限制了对空气污染、情绪、自杀风险之间动态关系的深入理解。在空气污染可能引发的不良效应中, 情绪反应可能是最为敏感的, 但在现实情境中, 敏感的情绪反应可能是源自各种外界刺激。因此, 基于既有研究结论尚不能断然推论空气污染与消极情绪的因果关系(相鹏 等，2017)。

因此，本研究选取 2010 年至 2020 年这一关键时期，旨在探讨中国空气污染与自杀风险之间的关系，并考察微博客基本社会情绪在其中的中介作用。在 2024 年回顾这一时期的数据具有重要意义。首先，这一时期覆盖了中国空气污染治理的关键阶段，为我们提供了评估政策效果和理解空气污染变化对公共卫生影响的宝贵机会。其次，随着社交媒体的兴起，微博等平台成为反映公众情绪的重要渠道，为我们研究情绪变化提供了新的视角。此外，随着大数据和自然语言处理技术的发展，我们现在能够更准确地分析和量化微博情绪，为研究提供了新的工具和方法。最后，这项研究有助于我们更好地理解空气污染对心理健康的影响机制，为制定有效的干预措施提供科学依据，以减少自杀事件的发生，提高公共健康水平。

2 研究方法

本研究旨在探索空气污染与自杀意念之间的关系,并深入剖析微博客基本社会情绪在这一关系中的中介作用。

2.1 数据抓取

本研究选取二氧化碳（CO_2）和二氧化硫（SO_2）作为空气污染的代表性指标，用以构建空气污染指数作为自变量。具体而言，我们收集了自 2010 年至 2020 年中国 31 个省、直辖市和自治区的空气污染物排放数据与碳排放统计资料，以获取各地区 CO_2 和 SO_2 的年度排放情况。

为获取微博文本数据，运用爬虫程序获取 2010 年至 2020 年期间发帖地位于中国 31 个省、直辖市及自治区范围内的公开性微博文本。为确保数据的代表性与处理效率，使用随机抽样策略，取其千分之一样本，构建了本研究专用的微博文本数据集。在此基础上，借助林萃分析系统，获取自杀意念与微博客基本社会情绪变量信息。

本研究以自杀意念作为因变量，构建自杀风险指数。该变量的获取依据源自于 Lv 等人(2015)精心构建的中文自杀词典中特定的“自杀意念”词类条目。运用林萃分析系统，对本研究专用的微博文本数据集的微博内容进行词语切分与细致的分类识别与过滤,统计各省每

年的“自杀意念”词类条目出现的词频，最终作为衡量自杀风险水平的量化指标。

在本研究中，微博客基本社会情绪作为中介变量，具体细化为正面情绪中的快乐情绪，以及负面情绪范畴内的悲伤情绪、愤怒情绪、恐惧情绪和厌恶情绪。为了系统地提取并量化这些情绪信息，我们采用了董颖红等人（2015）精心构建的微博客基本情绪词库作为核心工具。该词库全面覆盖了快乐、悲伤、愤怒、恐惧和厌恶这五种基本社会情绪的相关词汇，为情感分析提供了坚实的基础。基于此词库，我们对本研究专用的微博文本数据集的微博文本进行了深入的情感分析，精确划分并提取了快乐、悲伤、愤怒、恐惧、厌恶这五种微博客基本社会情绪的对应词频。这些词频数据按年度、省份进行汇总，作为衡量微博客基本社会情绪的中介变量，构建心理健康指数。

为确保研究的严谨性和结果的可靠性，本研究根据 2010 年至 2020 年间中国 31 个省、直辖市及自治区的宏观经济指标面板数据，选取全体居民人均可支配收入和人均医疗卫生两个变量作为控制变量。

2.2 数据处理与分析方法

在数据处理阶段，我们首先对原始数据进行了标准化处理，将各个变量值统一转换为 Z 分数形式，消除了不同变量间量纲差异的影响实现了数据的无量纲化，以确保后续分析中的可比性。

在分析方法上，我们采用了多种统计技术来深入探究变量之间的关系。首先，我们进行了描述性统计分析，报告了数据的总体分布特征，概括数据的集中趋势与离散程度。接着，使用 Pearson 相关系数分析以初步揭示变量之间的关联性及其强度。在此基础上，为了防范潜在的多重共线性问题对分析结果的干扰，进一步执行了共线性诊断，确保了模型变量的独立性。此外，拟采用 Hausman 检验，比较固定效应模型、随机效应模型与最小二乘回归模型在拟合数据上的优劣，以选择最适宜的模型进行后续分析。

在控制潜在混淆变量方面，我们引入了双向固定效应模型。该模型在估计过程中同时考虑了省份固定效应和时间固定效应，以控制不随时间变化的省份特征和时间特异因素对模型结果的影响，从而更准确地揭示空气污染与自杀意念之间的真实关系。

为深入探究空气污染、心理健康和自杀意念之间的复杂关系，构建结构方程模型（SEM）。在 SEM 模型中，我们同时估计了直接效应和间接效应，以探究空气污染对自杀意念的直接影响，以及微博基本情绪作为心理健康变量在其中的中介作用，揭示情绪状态如何作为心理机制，介导空气污染与自杀意念之间的关系。

3 研究结果

3.1 描述性统计与相关性分析

对空气污染指标（CO_2和 SO_2）、五种微博客基本社会情绪、自杀意念、人均可支配收入、人均医疗水平进行描述性统计分析，结果如下表 1 所示。

表 1 变量的描述性统计

变量	*M*	*SD*
CO2	309111421.7	208196078.5
SO2	594956.2	556288.9
快乐情绪	0.010173	0.000778
悲伤情绪	0.001334	3.65423E-05
愤怒情绪	0.000374	0.001652
恐惧情绪	0.000499	0.000354
厌恶情绪	0.000832	7.64856E-05
自杀意念	0.009317	7.64856E-05
人均可支配收入	22221.2	11210.8
人均医疗卫生	962.4	513.3

对数据进行标准化，以便进行不同变量之间的比较和关系探究。为了探讨变量间的基本关系，首先对变量进行皮尔逊相关性分析，结果如表 2 所示。

表 2 相关性分析结果

	自杀意念	CO_2	SO_2	人均可支配收入	人均医疗水平	快乐	愤怒	悲伤	恐惧	厌恶
自杀意念	1									
CO_2	-0.007	1								
SO_2	0.382***	0.602***	1							
人均可支配收入	-0.688***	0.043	-0.352***	1						
人均医疗卫生	-0.522***	-0.352***	-0.536***	0.508***	1					
快乐	-0.176**	-0.036	-0.049	0.093	-0.094	1				
愤怒	0.703***	-0.021	0.408***	-0.479***	-0.559***	-0.225***	1			
悲伤	0.788***	-0.054	0.391***	-0.595***	-0.591***	-0.129**	0.683***	1		
恐惧	0.014	0.086	-0.033	-0.126*	-0.117**	0.346***	-0.056	0.033	1	
厌恶	0.714***	-0.121*	0.395***	-0.575***	-0.602***	-0.101	0.757***	0.883	-0.015	1

注：N = 341；***表示 $p < 0.001$, **表示 $p < 0.01$, *表示 $p < 0.05$；采用双尾检验；下同。

由相关分析结果可见，CO_2排放量与自杀意念为显著的负相关关系，然而 SO_2排放量与自杀意念为显著的正相关关系。此外，快乐情绪与自杀意念呈显著的负相关关系，即快乐情绪越多，自杀意念越低。愤怒、悲伤、厌恶情绪与自杀意念呈显著的正相关关系，即负面情

绪（愤怒、悲伤、厌恶）越多，自杀意念越高。进一步分析显示，人均医疗卫生和人均可支配收入均与自杀意念呈显著的负相关关系，即医疗资源和经济条件越好，自杀意念越低。

3.2 共线性诊断

为确保回归模型中自变量之间的独立性，避免多重共线性对估计结果的影响，本研究进行了共线性诊断。根据诊断结果（见表 3），VIF 值均小于 10，表明不存在严重的多重共线性问题，符合模型估计的假设要求。

表 3 多重共线性检验结果

变量	VIF	1/VIF
CO_2	2.810	0.356
SO_2	2.700	0.371
快乐情绪	1.410	0.712
愤怒情绪	2.720	0.368
悲伤情绪	4.960	0.201
恐惧情绪	1.250	0.798
厌恶情绪	6.550	0.153
人均可支配收入	1.860	0.539
人均医疗水平	2.760	0.362

3.3 模型选择

采用 Stata 软件进行模型选择检验，结果显示：（1）对固定效应模型与最小二乘回归模型进行比较，$p < 0.001$，即固定效应显著，表明固定效应模型显著优于最小二乘回归模型优；（2）对随机效应模型与最小二乘回归模型进行比较，$p < 0.001$，即随机效应显著，表明随机效应模型优于最小二乘回归模型；（3）对固定效应模型和随机效应模型进行 Hausman 检验，$p < 0.001$，表明两者之间存在显著差异，固定效应模型更为适用。

表 4 模型比较检验结果

	最小二乘回归模型	固定效应模型	随机效应模型
	自杀意念	自杀意念	自杀意念
CO_2	-0.185^{***}	-0.586^{***}	-0.307^{***}
	(0.051)	(0.219)	(0.066)
SO_2	0.196^{***}	0.389^{***}	0.279^{***}

	(0.054)	(0.063)	(0.057)
人均可支配收入	-0.494***	-0.054	-0.407***
	(0.047)	(0.110)	(0.064)
人均医疗水平	-0.232***	-0.646***	-0.384***
	(0.049)	(0.077)	(0.056)
R^2	0.537	0.657	
R^2_adjust	0.531	0.619	

综合各模型的结果，固定效应模型表现最佳，其能够解释因变量 61.9%的变异（$R^2 = 0.627$；调整后的 $R^2 = 0.619$，考虑了模型的自由度的情况下）。

3.4 中介效应分析

进一步探讨 CO_2 和 SO_2 排放量如何通过快乐情绪影响自杀意念，结果发现：快乐情绪并未在 CO_2 和 SO_2 排放量与自杀意念之间起中介作用。当回归方程纳入快乐情绪后，直接效应依然显著，表明快乐情绪未能作为中介变量发挥作用。然而社会经济因素（如人均医疗卫生和居民人均可支配收入）对自杀意念的影响中表现出显著的部分中介作用。

表 5 快乐情绪的中介效应分析

Type	Effect	Estimate	SE	95% C.I. (a) Lower	95% C.I. (a) Upper	β	z	*p*
Indirect	CO_2 ⇒ 快乐 ⇒ 自杀意念	0.002	0.011	-0.020	0.023	0.002	0.147	0.883
	SO_2 ⇒ 快乐 ⇒ 自杀意念	0.007	0.011	-0.015	0.029	0.007	0.621	0.535
Direct	CO_2 ⇒ 自杀意念	-0.374	0.058	-0.488	-0.259	-0.374	-6.404	<.001
	SO_2 ⇒ 自杀意念	0.600	0.058	0.485	0.714	0.600	10.268	<.001
Total	CO_2 ⇒ 自杀意念	-0.372	0.059	-0.489	-0.256	-0.372	-6.26	<.001
	SO_2 ⇒ 自杀意念	0.606	0.059	0.490	0.723	0.606	10.202	<.001

在控制人均医疗卫生和居民人均可支配收入的条件下，人均医疗卫生通过快乐情绪对自杀意念有显著的正向间接效应，β = 0.042，Boot SE = 0.015，95% CI [0.013, 0.071]，中介效应占总效应的比例为 15.32%。居民人均可支配收入通过快乐情绪对自杀意念有显著的负向间接效应，β = -0.034，Boot SE = 0.013，95% CI 为 [-0.060, -0.008]，中介效应占总效应的比例为 6.87%。这一结果表明，经济条件可能通过提升主观幸福感（快乐情绪）间接影响自杀意念。

探讨 CO_2 和 SO_2 排放量如何通过愤怒情绪影响自杀意念，结果发现：CO_2 通过愤怒情绪对自杀意念有显著的负向间接效应，中介效应占总效应的比例为 69.62%。SO_2 排放量通过愤怒情绪对自杀意念有显著的正向间接效应，中介效应占总效应的比例为 67.49%。这一结

果表明，愤怒情绪在CO_2和SO_2排放量与自杀意念之间扮演了重要的中介角色，效应方向与污染物种类有关。

表 6 愤怒情绪的中介效应分析

Type	Effect	Estimate	SE	95% C.I. (a) Lower	Upper	β	z	*p*
Indirect	CO_2 → 愤怒 → 自杀意念	-0.259	0.040	-0.338	-0.180	-0.259	-6.430	<.001
	SO_2 → 愤怒 → 自杀意念	0.409	0.046	0.318	0.500	0.409	8.840	<.001
Direct	CO_2 → 自杀意念	-0.113	0.051	-0.213	-0.013	-0.113	-2.220	0.026
	SO_2 → 自杀意念	0.198	0.056	0.088	0.307	0.198	3.540	<.001
Total	CO_2 → 自杀意念	-0.372	0.059	-0.489	-0.256	-0.372	-6.260	<.001
	SO_2 → 自杀意念	0.606	0.059	0.490	0.723	0.606	10.200	<.001

在控制人均医疗卫生和居民人均可支配收入的条件下，愤怒情绪在居民人均可支配收入与自杀意念之间起部分中介作用，而在CO_2或SO_2排放量与自杀意念之间起完全中介作用，且在人均医疗卫生与自杀意念之间起完全中介作用。CO_2排放量和人均医疗卫生通过愤怒情绪对自杀意念均有显著的负向间接效应，SO_2排放量和居民人均可支配收入通过愤怒情绪对自杀意念均有显著的正向间接效应。这一结果表明，CO_2排放量通过愤怒情绪降低自杀意念，可能因愤怒情绪对心理调节的保护性作用。SO_2排放量通过愤怒情绪增加自杀意念，提示污染物可能通过情绪激化机制增加心理风险。

探讨CO_2和SO_2排放量如何通过厌恶情绪影响自杀意念，结果发现：CO_2排放量通过厌恶情绪对自杀意念有显著的负向间接效应，厌恶情绪在CO_2排放量与自杀意念之间起完全中介作用，中介效应占总效应的比例为101.34%，存在遮掩效应。SO_2排放量通过厌恶情绪对自杀意念有显著的正向间接效应，厌恶情绪在SO_2排放量与自杀意念之间起部分中介作用，中介效应占总效应的比例为81.19%。厌恶情绪的遮掩效应（特别是CO_2的情境）表明CO_2排放量的潜在保护作用可能被厌恶情绪反向掩盖，SO_2排放量通过引发厌恶情绪可能加剧心理不适，增加自杀意念。

表 7 厌恶情绪的中介效应分析

Type	Effect	Estimate	SE	95% C.I. (a) Lower	Upper	β	z	*p*
Indirect	CO_2 ⇒ 厌恶 ⇒ 自杀意念	-0.377	0.045	-0.465	-0.289	-0.377	-8.401	<.001
	SO_2 ⇒ 厌恶 ⇒ 自杀意念	0.492	0.050	0.393	0.590	0.492	9.825	<.001
Direct	CO_2 ⇒ 自杀意念	0.005	0.054	-0.100	0.111	0.005	0.095	0.924
	SO_2 ⇒ 自杀意念	0.115	0.058	0.001	0.229	0.115	1.976	0.048
Total	CO_2 ⇒ 自杀意念	-0.372	0.059	-0.489	-0.256	-0.372	-6.260	<.001

	SO₂ ⇒ 自杀意念	0.606	0.059	0.490	0.723	0.606	10.202	<.001

在控制人均医疗卫生和居民人均可支配收入的条件下，厌恶情绪在居民人均可支配收入与自杀意念之间起部分中介作用，厌恶情绪在 CO_2 或 SO_2 排放量与自杀意念之间起完全中介作用，且在人均医疗卫生与自杀意念之间起完全中介作用。CO_2 排放量和人均医疗卫生通过厌恶情绪对自杀意念均有显著的负向间接效应，SO_2 排放量和居民人均可支配收入通过厌恶情绪对自杀意念均有显著的正向间接效应。

探讨 CO_2 和 SO_2 排放量如何通过悲伤情绪影响自杀意念，结果发现：CO_2 排放量通过悲伤情绪对自杀意念有显著的负向间接效应，悲伤情绪在 CO2 与自杀意念之间起完全中介作用，中介效应占总效应的比例为 90.59%。SO_2 排放量通过悲伤情绪对自杀意念有显著的正向间接效应，悲伤情绪在 SO_2 排放量与自杀意念之间起部分中介作用，中介效应占总效应的比例为 81.35%。悲伤情绪的作用机制与厌恶情绪类似：CO_2 排放量对悲伤情绪的缓解可能起到心理保护作用，SO_2 排放量则可能通过加重悲伤情绪恶化心理健康。

表 8 悲伤情绪的中介效应分析

				95% C.I. (a)				
Type	**Effect**	**Estimate**	**SE**	**Lower**	**Upper**	β	**z**	***p***
Indirect	CO_2 ⇒ 悲伤 ⇒ 自杀意念	-0.337	0.046	-0.427	-0.247	-0.337	-7.304	<.001
	SO_2 ⇒ 悲伤 ⇒ 自杀意念	0.493	0.050	0.395	0.591	0.493	9.887	<.001
Direct	CO_2 ⇒ 自杀意念	-0.035	0.045	-0.123	0.053	-0.035	-0.783	0.434
	SO_2 ⇒ 自杀意念	0.114	0.049	0.018	0.209	0.114	2.327	0.020
Total	CO_2 ⇒ 自杀意念	-0.372	0.059	-0.489	-0.256	-0.372	-6.260	<.001
	SO_2 ⇒ 自杀意念	0.606	0.059	0.490	0.723	0.606	10.202	<.001

在控制人均医疗卫生和居民人均可支配收入的条件下，悲伤情绪在居民人均可支配收入与自杀意念之间起部分中介作用，悲伤情绪在 CO_2 或 SO_2 排放量与自杀意念之间起完全中介作用，且在人均医疗卫生与自杀意念之间起完全中介作用。CO_2 排放量、人均医疗卫生和居民人均可支配收入均通过悲伤情绪对自杀意念均有显著的负向间接效应，SO_2 排放量通过悲伤情绪对自杀意念均有显著的正向间接效应。

探讨 CO_2 和 SO_2 排放量如何通过恐惧情绪影响自杀意念，结果发现：回归方程纳入恐惧情绪后，直接效应显著，间接效应不显著。恐惧情绪在 CO_2 排放量与自杀意念之间不起中介作用，恐惧情绪在 SO_2 排放量与自杀意念之间不起中介作用。即恐惧情绪在 CO_2 和 SO_2 排放量的情境中可能缺乏显著影响力，提示其在自杀意念的心理机制中作用较弱。

表 9 恐惧情绪的中介效应分析

Type	Effect	Estimate	SE	95% C.I. (a) Lower	Upper	β	z	*p*
Indirect	CO_2 ⇒ 恐惧 ⇒ 自杀意念	0.011	0.009	-0.007	0.029	0.011	1.230	0.219
	SO_2 ⇒ 恐惧 ⇒ 自杀意念	-0.009	0.008	-0.024	0.006	-0.009	-1.150	0.249
Direct	CO_2 ⇒ 自杀意念	-0.383	0.060	-0.500	-0.266	-0.383	-6.420	<.001
	SO_2 ⇒ 自杀意念	0.615	0.060	0.499	0.732	0.615	10.340	<.001
Total	CO_2 ⇒ 自杀意念	-0.372	0.059	-0.489	-0.256	-0.372	-6.260	<.001
	SO_2 ⇒ 自杀意念	0.606	0.059	0.490	0.723	0.606	10.200	<.001

在控制人均医疗卫生和居民人均可支配收入的条件下，回归方程纳入恐惧情绪后，仅全体居民人均可支配收入的直接效应显著，间接效应均不显著，恐惧情绪在自变量与自杀意念之间均不起中介作用，提示 CO_2 排放量通过恐惧情绪对自杀意念有负向间接效应。

进一步引入双向固定模型进行分析，在控制了省份和年份的影响后，统计分析显示 CO_2（$p > 0.05$）和 SO_2 排放量（$p > 0.05$）与自杀意念之间的关系不显著，表明这两个空气污染的环境变量（CO_2 和 SO_2 排放量）对自杀意念的直接影响可能较弱。

CO_2 和 SO_2 排放量对自杀意念的效应可能并非直接作用，而是需要通过其他中介变量（如心理健康、社会环境压力）或特定情境（如极端污染事件）来体现。因此，本研究进一步考虑了情绪的中介变量，再次探究空气污染指数与自杀意念之间的关系。

控制了省份和年份后，进一步考虑了情绪的中介变量，CO_2 和 SO_2 排放量与自杀意念之间的关系不显著（$p > 0.05$），表明这两个环境变量（CO_2 和 SO_2 排放量）对自杀意念的直接影响可能较弱，除了厌恶情绪(M5)，其他情绪对自杀意念的正向效应均显著。

3.5 交叉滞后分析

采用 Mplus 进行随机截距交叉滞后面板分析，在空气污染治理的初期（2013 年）、中期（2017 年）及后期（2020 年）对中国 31 地该年数据构建模型，引入微博客基本社会情绪-快乐情绪为中介变量，暂不纳入协变量“人均居民可支配收入”与“人均医疗卫生”，结果无法输出标准化模型结果，无法进行因果推断，即模型无法收敛。

推断原因可能是：（1）样本量不足：建议是参数的 5 倍以上，但本研究只有 31 行样本（31 个省份、自治区、直辖市）；（2）模型过于复杂：过多的路径或因子载荷被设定为自由参数，尝试将一些参数设定为固定值或删除不必要的路径，简化模型，减少参数数量。我们尝试仅纳入 2 个时间点（2013 年、2020 年）的自变量（CO2）和因变量（自杀意念），但模型仍然无法收敛。

4 讨论与结论

本研究结合中介效应、双向固定效应模型及交叉滞后分析，探讨 2010-2020 年中国空气污染与自杀意念关系，考察微博客基本社会情绪的中介作用。通过大数据分析发现，不同的空气污染物类型对自杀意念的影响机制会产生差异。CO2 主要通过负向间接效应（愤怒、厌恶、悲伤情绪）降低自杀意念，可能体现一定的心理保护机制，可能与 CO2 水平较高对健康和心理产生的非直接威胁有关。而 SO2 主要通过正向间接效应（愤怒、厌恶、悲伤情绪）增加自杀意念，表现出污染物的心理负面效应，可能与其带来的急性健康威胁或污染暴露引发的压力有关。

此外，宏观因素的作用也不可忽视。人均医疗卫生和居民人均可支配收入均通过情绪（快乐、愤怒、厌恶、悲伤）影响自杀意念。人均医疗卫生的负向间接效应提示良好的公共健康资源可能减轻心理负担。而居民人均可支配居民收入的正向间接效应可能与经济压力或社会不平等相关。

尽管 CO2 和 SO2 对自杀意念的直接效应不显著，但通过某些情绪变量（特别是厌恶、愤怒和悲伤）显现出间接影响。情绪在空气污染和自杀意念之间的效应也有所差异。厌恶和悲伤情绪的完全中介作用、遮掩效应表明情绪在污染物和自杀意念间的非线性作用。愤怒情绪表现为污染物心理效应的主要传导路径，效应方向取决于污染物类型。

本研究深入探究了情绪机制在空气污染与自杀意念关联中的核心作用，其不仅在理解空气污染对心理健康的影响中发挥了重要作用，而且为政策制定提供了新的视角。基于此，研究建议政府在应对空气污染问题时，不仅应注重减少空气污染物的排放，尤其是 SO_2 的排放，还应加大对心理健康的投入，特别是在空气污染严重的地区和高风险群体中。首先，政府可通过制定更严格的环保法规，推动工业和交通领域的污染排放控制，减少 SO_2 等有害物质的释放，从源头上减轻空气污染对民众健康的危害。其次，针对受空气污染影响较大的群体，政府应加强心理健康支持体系的建设，包括心理健康教育、心理咨询服务以及心理干预措施，尤其是在污染严重的城市和地区，提供定期的心理健康检查和应对策略。

此外，社会层面可以通过提升公众的情绪调节能力，加强心理韧性，减少情绪问题对自杀意念的负面影响。通过公众教育和宣传，提高居民对空气污染与心理健康之间关系的认知，促进个人情绪管理和心理健康的提升，从而减少环境污染对自杀意念的潜在负面作用。

参考文献

[1] Beelen, R., Stafoggia, M., Raaschou-Nielsen, O., Andersen, Z. J., Xun, W. W., Katsouyanni, K., Dimakopoulou, K., Brunekreef, B., Weinmayr, G., Hoffmann, B., Wolf, K., Samoli, E., Houthuijs, D., Nieuwenhuijsen, M., Oudin, A., Forsberg, B., Olsson, D., Salomaa, V., Lanki, T., … Hoek, G. (2014). Long-term exposure to air pollution and cardiovascular mortality: An analysis of 22 European cohorts. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, *25*(3), 368–378. https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000076

[2] Calderon-Garciduenas, L., Maronpot, R. R., Torres-Jardon, R., Henriquez-Roldan, C., Schoonhoven, R., Acuna-Ayala, H., Villarreal-Calderon, A., Nakamura, J., Fernando, R., Reed, W., Azzarelli, B., & Swenberg, J. A. (2003). DNA Damage in Nasal and Brain Tissues of Canines Exposed to Air Pollutants Is Associated with Evidence of Chronic Brain Inflammation and Neurodegeneration. *Toxicologic Pathology*, *31*(5), 524–538. https://doi.org/10.1080/01926230390226645

[3] Levinson, A. (2012). Valuing public goods using happiness data: The case of air quality. *Journal of Public Economics*, *96*(9), 869–880. https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2012.06.007

[4] Levinson, S. C. (2012). The Original Sin of Cognitive Science. *Topics in Cognitive Science*, *4*(3), 396–403. https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2012.01195.x

[5] Lim, Y.-H., Kim, H., Kim, J. H., Bae, S., Park, H. Y., & Hong, Y.-C. (2012). Air Pollution and Symptoms of Depression in Elderly Adults. *Environmental Health Perspectives*, *120*(7), 1023–1028. https://doi.org/10.1289/ehp.1104100

[6] Lv, M., Li, A., Liu, T., & Zhu, T. (2015). Creating a Chinese suicide dictionary for identifying suicide risk on social media. *PeerJ*, *3*, e1455. https://doi.org/10.7717/peerj.1455

[7] Power, M., Kioumourtzoglou, M.-A., Hart, J., Okereke, O., Laden, F., & Weisskopf, M. (2015). The relation between past exposure to fine particulate air pollution and prevalent anxiety: Observational cohort study. *British Medical Journal*. https://www.semanticscholar.org/paper/The-relation-between-past-exposure-to-fine-air-and-Power-Kioumourtzoglou/c159f6897e62c6b8afaf0dc938128e380430aaed

[8] Zhang, P., Carleton, T., Lin, L., & Zhou, M. (2024). Estimating the role of air quality improvements in the decline of suicide rates in China. *Nature Sustainability*, *7*(3), 260–269. https://doi.org/10.1038/s41893-024-01281-2

[9] 吕小康，王丛. (2017). 空气污染对认知功能与心理健康的损害. *心理科学进展, 25*(1), 111–120.

[10] 董颖红，陈浩，赖凯声，乐国安. (2015). 微博客基本社会情绪的测量及效度检验. *心理科学, 38*(5), 1141-1146.doi:10.16719/j.cnki.1671-6981.2015.05.034.

[11] 杜美含，吴金晏，陈浩. (2024). 空气污染对个体情绪的影响：大数据与实验的证据. *应用心理学, 30*(3), 281–288. https://doi.org/10.20058/j.cnki.CJAP.023048

[12] 王钟涵，王晓田. (2023). 中国人群自杀风险的性别比：相关的理论、风险因素、应对策略及社会期望下的压力应对. *心理科学进展, 31*(11), 2155–2170.

[13] 相鹏，耿柳娜，周可新，程枭. (2017). 空气污染的不良效应及理论模型:环境心理学的视角. *心理科学进展, 25*(4), 691–700.